UNIDAD I. LENGUAJES REGULARES

1. LENGUAJES FORMALES

1.1. LENGUAJES NATURALES Y LENGUAJES FORMALES

(Brookshear, 1993, pp. 12-13)

Un lenguaje natural es aquel que ha evolucionado con el paso del tiempo para fines de la comunicación humana, por ejemplo, el español, el inglés o el alemán. Estos lenguajes continúan su evolución sin tomar en cuenta reglas gramaticales formales.

En contraste con los lenguajes naturales, los lenguajes formales están definidos por reglas preestablecidas y, por lo tanto, se ajustan con todo rigor a ellas. Como ejemplo tenemos los lenguajes de programación de computadores. Gracias a esta adhesión a las reglas, es posible construir traductores eficientes para los lenguajes de programación, a la vez que la falta de observancia de reglas establecidas dificulta la construcción de un traductor para un lenguaje natural.

1.2. CONCEPTOS

1.2.1. SÍMBOLO

Notación:
σ

Ejemplos:
$\sigma_1 = 0$
$\sigma_2 = 1$

1.2.2. ALFABETO

Definición:
"Un alfabeto es un conjunto finito no vacío de símbolos" (Hopcroft, 2002, p. 32).

Notación:
$\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \ldots, \sigma_n\}$ $n > 0$

Ejemplo:
$\Sigma = \{0, 1\}$

Ejemplos:
Σ_1 = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}
Σ_2 = {a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, ñ, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z}
Σ_3 = {A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Ñ, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z}
Σ_4 = {a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, ñ, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, Ñ, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z}
Σ_5 = {!, ", #, $, %, &, ', (,), *, +, ,,-, ., /, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, :, ;, <, =, >, ?, @, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, [, \,], ^, _, `, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, {, |, }, ~}

Ejercicios:
Σ_1 = {., _}
Σ_2 = {I, V, X, L, C, D, M}
Σ_3 = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ., -, K}
Σ_4 = {B, C, D, F, G, H, J, K, L, P, R, S, T, V, W, X, Y, Z, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}

1.2.3. PALABRA

Definición:
"Una secuencia finita de símbolos de un determinado alfabeto se conoce como palabra sobre dicho alfabeto" (Kelley, 1995, p. 30).

Notación:
$\omega = \sigma_1\sigma_2\sigma_3\ldots\sigma_n$

Ejemplos:
$\omega_1 = 0$
$\omega_2 = 1$
$\omega_3 = 011$
$\omega_4 = 110$
$\omega_5 = 111$
$\omega_6 = 01101$

Observación:
Cada símbolo de un alfabeto es una palabra sobre dicho alfabeto (Kelley, 1995, p. 30).

1.2.3.1. PALABRA VACÍA

Notación:
ε

Observación:
La palabra vacía es una palabra sobre cualquier alfabeto (Kelley, 1995, p. 30).

1.2.4. LENGUAJE

Definición:
"Un lenguaje es un conjunto de palabras" (Kelley, 1995, p. 31).

Notación:
$L = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \ldots, \omega_n\}$

Ejemplos:
$L_1 = \varnothing$
$L_2 = \{\varepsilon\}$
$L_3 = \{0\}$
$L_4 = \{1\}$
$L_5 = \{0, 1\}$
$L_6 = \{\varepsilon, 01, 10, 0011, 0101, 0110, 1001, 1010, 1100, \ldots\}$

1.3. OPERACIONES CON PALABRAS

1.3.1. LONGITUD

Notación:
$|\omega|$

Definición:
"La longitud de una palabra es el número de símbolos que la componen" (Cases, 2002, p. 14).

$\omega = \sigma_1\sigma_2\sigma_3\ldots\sigma_n \Rightarrow |\omega| = n$

Ejemplos:
$\omega_1 = 011 \Rightarrow |\omega_1| = |011| = 3$
$\omega_2 = 01101 \Rightarrow |\omega_2| = |01101| = 5$

Observaciones:
- $|\varepsilon| = 0$
- $|\omega|_\sigma$ es el número de ocurrencias del símbolo σ en la palabra ω (Cases, 2002, p. 14).

1.3.2. CONCATENACIÓN

Definición:
La concatenación de dos palabras es la palabra que se forma al escribir la primera seguida de la segunda (Hopcroft, 1997, pp.1-2).

$$\begin{array}{l} \omega_1 = \sigma_{11}\sigma_{12}\sigma_{13}\cdots\sigma_{1i} \\ \omega_2 = \sigma_{21}\sigma_{22}\sigma_{23}\cdots\sigma_{2j} \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} \omega = \omega_1\omega_2 = \sigma_{11}\sigma_{12}\sigma_{13}\cdots\sigma_{1i}\sigma_{21}\sigma_{22}\sigma_{23}\cdots\sigma_{2j} \\ |\omega| = |\omega_1\omega_2| = |\omega_1| + |\omega_2| = i + j \end{array}$$

Ejemplos:

$$\begin{array}{l} \omega_1 = 01101 \\ \omega_2 = 110 \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} \omega = \omega_1\omega_2 = 01101110 \\ |\omega| = |\omega_1\omega_2| = |\omega_1| + |\omega_2| = |01101| + |110| = 5 + 3 = 8 \\ \\ \omega = \omega_2\omega_1 = 11001101 \\ |\omega| = |\omega_2\omega_1| = |\omega_2| + |\omega_1| = |110| + |01101| = 3 + 5 = 8 \end{array}$$

Propiedades:
1. Elemento neutro
   $\omega\varepsilon = \varepsilon\omega = \omega$
2. Asociatividad
   $\omega_1(\omega_2\omega_3) = (\omega_1\omega_2)\omega_3 = \omega_1\omega_2\omega_3$

1.3.3. POTENCIA

$$\omega^i = \begin{cases} \varepsilon & \text{si} \quad i = 0 \\ \omega & \text{si} \quad i = 1 \\ \omega^{i-1}\omega & \text{si} \quad i > 1 \end{cases}$$

Ejemplo:

$$\omega = 01101 \Rightarrow \begin{cases} \omega^0 = \varepsilon \\ \omega^1 = 01101 \\ \omega^2 = 0110101101 \\ \omega^3 = 011010110101101 \end{cases}$$

1.3.4. TRANSPUESTA

$\omega = \sigma_1\sigma_2\sigma_3\ldots\sigma_{n-2}\sigma_{n-1}\sigma_n \Rightarrow \omega^R = \sigma_n\sigma_{n-1}\sigma_{n-2}\ldots\sigma_3\sigma_2\sigma_1$

Ejemplo:
$\omega = 0010 \Rightarrow \omega^R = 0100$

Propiedades:
1. $(\omega^R)^R = \omega$
2. $(\omega_1\omega_2)^R = \omega_2^R\omega_1^R$

1.3.5. PREFIJO

$\omega = \omega_1\omega_2 \Rightarrow \omega_1$ es prefijo de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow P = \{\varepsilon, 0, 01, 011, 0110, 01101\}$

1.3.5.1. PREFIJO PROPIO

$\omega = \omega_1\omega_2 \wedge \omega \neq \omega_1 \Rightarrow \omega_1$ es prefijo propio de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow P' = \{\varepsilon, 0, 01, 011, 0110\}$

1.3.6. SUFIJO

$\omega = \omega_1\omega_2 \Rightarrow \omega_2$ es sufijo de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow S = \{\varepsilon, 1, 01, 101, 1101, 01101\}$

1.3.6.1. SUFIJO PROPIO

$\omega = \omega_1\omega_2 \wedge \omega \neq \omega_2 \Rightarrow \omega_2$ es sufijo propio de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow S' = \{\varepsilon, 1, 01, 101, 1101\}$

1.3.7. SUBPALABRA

$\omega = \omega_1\omega_2\omega_3 \Rightarrow \omega_2$ es subpalabra de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow I = \{\varepsilon, 0, 1, 01, 10, 11, 011, 101, 110, 0110, 1101, 01101\}$

1.3.7.1. SUBPALABRA PROPIA

$\omega = \omega_1\omega_2\omega_3 \wedge \omega \neq \omega_2 \Rightarrow \omega_2$ es subpalabra propia de ω

Ejemplo:
$\omega = 01101 \Rightarrow I' = \{\varepsilon, 0, 1, 01, 10, 11, 011, 101, 110, 0110, 1101\}$

1.4. OPERACIONES CON ALFABETOS

1.4.1. UNIÓN

$\Sigma_1 \cup \Sigma_2 = \{\sigma \,/\, \sigma \in \Sigma_1 \vee \sigma \in \Sigma_2\}$

1.4.2. POTENCIA

$\Sigma^i = \{\omega \,/\, |\omega| = i\}$

Ejemplo:

$$\Sigma = \{0, 1\} \Rightarrow \begin{cases} \Sigma^0 = \{\varepsilon\} \\ \Sigma^1 = \{0, 1\} \\ \Sigma^2 = \{00, 01, 10, 11\} \\ \Sigma^3 = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\} \end{cases}$$

1.4.3. CLAUSURA

$\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \ldots$

Ejemplo:
$\Sigma = \{0, 1\} \Rightarrow \Sigma^* = \{\varepsilon, 0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, \ldots\}$

Observación:
$L \subseteq \Sigma^*$

1.4.4. CLAUSURA POSITIVA

$\Sigma^+ = \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \ldots$

Ejemplo:
$\Sigma = \{0, 1\} \Rightarrow \Sigma^+ = \{0, 1, 00, 01, 10, 11, 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, \ldots\}$

Observación:
$\Sigma^* = \Sigma^0 \cup \Sigma^1 \cup \Sigma^2 \cup \Sigma^3 \cup \ldots$
$\Sigma^* = \{\varepsilon\} \cup \Sigma^+$

1.5. OPERACIONES CON LENGUAJES

1.5.1. UNIÓN

$L_1 \cup L_2 = \{\omega \,/\, \omega \in L_1 \vee \omega \in L_2\}$

Ejemplo 1:

$$\begin{matrix} L_1 = \{10, 001, 111\} \\ L_2 = \{\varepsilon, 001\} \end{matrix} \Rightarrow L_1 \cup L_2 = \{\varepsilon, 10, 001, 111\}$$

Ejemplo 2:

$$\begin{matrix} L_1 = \{\varepsilon, 0, 1, 10, 11\} \\ L_2 = \{\varepsilon, 1, 0110, 11010\} \end{matrix} \Rightarrow L_1 \cup L_2 = \{\varepsilon, 0, 1, 10, 11, 0110, 11010\}$$

1.5.2. INTERSECCIÓN

$L_1 \cap L_2 = \{\omega \,/\, \omega \in L_1 \wedge \omega \in L_2\}$

Ejemplo:

$$\begin{matrix} L_1 = \{\varepsilon, 0, 1, 10, 11\} \\ L_2 = \{\varepsilon, 1, 0110, 11010\} \end{matrix} \Rightarrow L_1 \cap L_2 = \{\varepsilon, 1\}$$

1.5.3. DIFERENCIA

$L_1 - L_2 = \{\omega \,/\, \omega \in L_1 \wedge \omega \notin L_2\}$

Ejemplo:

$$\begin{matrix} L_1 = \{\varepsilon, 0, 1, 10, 11\} \\ L_2 = \{\varepsilon, 1, 0110, 11010\} \end{matrix} \Rightarrow L_1 - L_2 = \{0, 10, 11\}$$

1.5.4. COMPLEMENTACIÓN

$\overline{L} = \Sigma^* - L$

1.5.5. CONCATENACIÓN

$L_1L_2 = \{\omega_1\omega_2 \ / \ \omega_1 \in L_1 \wedge \omega_2 \in L_2\}$

Ejemplo 1:

$$\begin{matrix} L_1 = \{1, 10\} \\ L_2 = \{11, 011\} \end{matrix} \Rightarrow L_1L_2 = \{111, 1011, 10011\}$$

Ejemplo 2:

$$\begin{matrix} L_1 = \{10, 001, 111\} \\ L_2 = \{\varepsilon, 001\} \end{matrix} \Rightarrow L_1L_2 = \{10, 001, 111, 10001, 001001, 111001\}$$

Propiedades:
1. $L\varnothing = \varnothing L = \varnothing$
2. $L\{\varepsilon\} = \{\varepsilon\}L = L$
3. $L_1(L_2L_3) = (L_1L_2)L_3 = L_1L_2L_3$

Ejercicio 1:
$L_1 = \{a, ab\}$
$L_2 = \{b, ab\}$

Ejercicio 2:
$L_1 = \{a, ab\}$
$L_2 = \{b, bb\}$

Ejercicio 3:
$L_1 = \{a, ab, baa\}$
$L_2 = \{ab, ba\}$

1.5.6. POTENCIA

$$L^i = \begin{cases} \{\varepsilon\} & \text{si} \quad i = 0 \\ L & \text{si} \quad i = 1 \\ L^{i-1}L & \text{si} \quad i > 1 \end{cases}$$

Ejemplo:

$$L = \{0, 11\} \Rightarrow \begin{cases} L^0 = \{\varepsilon\} \\ L^1 = \{0, 11\} \\ L^2 = \{00, 011, 110, 1111\} \\ L^3 = \{000, 0011, 0110, 1100, 01111, 11011, 11110, 111111\} \end{cases}$$

1.5.7. CLAUSURA

$L^* = L^0 \cup L^1 \cup L^2 \cup L^3 \cup \ldots$

Ejemplo:
$L = \{10, 11\} \Rightarrow L^* = \{\varepsilon, 10, 11, 1010, 1011, 1110, 1111, \ldots\}$

1.5.8. CLAUSURA POSITIVA

$L^+ = L^1 \cup L^2 \cup L^3 \cup \ldots$

Ejemplo:
$L = \{10, 11\} \Rightarrow L^+ = \{10, 11, 1010, 1011, 1110, 1111, \ldots\}$

Observación:
$L^* = L^0 \cup L^1 \cup L^2 \cup L^3 \cup \ldots$
$L^* = \{\varepsilon\} \cup L^+$

Propiedad:
$L^+ = LL^* = L^*L$

1.5.9. TRANSPUESTA

$L^R = \{\omega^R \,/\, \omega \in L\}$

Ejemplo:
$L = \{10, 001, 111\} \Rightarrow L^R = \{01, 100, 111\}$

Propiedades:
1. $(L^R)^R = L$
2. $(L_1L_2)^R = L_2^RL_1^R$

1.6. REPRESENTACIÓN DE LENGUAJES

1.6.1. GRAMÁTICAS

Definición:

$G = (N, \Sigma, P, S)$ $\quad N \cap \Sigma = \varnothing$ $\quad$ donde

N : conjunto finito de símbolos no terminales
Σ : conjunto finito de símbolos terminales
P : conjunto finito de producciones

$$P \subseteq (N \cup \Sigma)^* N (N \cup \Sigma)^* \times (N \cup \Sigma)^*$$

Notación:
$(\alpha, \beta) \in P \Rightarrow \alpha \rightarrow \beta$

Cada producción consta de un lado izquierdo y un lado derecho, conectados por una flecha (Brookshear, 1993, p. 50).

Los lados izquierdo y derecho de las producciones de una gramática pueden ser cualquier combinación de no terminales y terminales, siempre y cuando el lado izquierdo contenga por lo menos un no terminal (Brookshear, 1993, p. 51).

Se puede abreviar la escritura de las producciones factorizando todas las que tienen el mismo lado izquierdo, de modo que en una misma línea se escribe este lado izquierdo seguido de la flecha y a continuación todos los lados derechos de las producciones, separados entre sí por una barra vertical.

$$\left.\begin{array}{l} \alpha \rightarrow \beta_1 \\ \alpha \rightarrow \beta_2 \\ \alpha \rightarrow \beta_3 \\ \quad \cdots \\ \alpha \rightarrow \beta_n \end{array}\right\} \Rightarrow \alpha \rightarrow \beta_1 \mid \beta_2 \mid \beta_3 \mid \cdots \mid \beta_n$$ [1]

S : símbolo inicial

$$S \in N$$

Ejemplo:
$G = (\{S\}, \{a, b\}, \{S \rightarrow aSb \mid \varepsilon\}, S)$

[1] | se lee "o".

1.6.1.1. DERIVACIÓN

Una gramática genera una palabra si, al comenzar con el símbolo inicial, se puede producir esa palabra reemplazando sucesivamente el lado izquierdo de las producciones de la gramática por su correspondiente lado derecho, hasta que sólo queden terminales. La secuencia de pasos de este proceso se conoce como derivación de la palabra (Brookshear, 1993, p. 52).

Ejemplo:
$S \Rightarrow aSb \Rightarrow aaSbb \Rightarrow aaaSbbb \Rightarrow aaaaSbbbb \Rightarrow aaaabbbb$

Paso de derivación

Definición:
$\beta \to \gamma \in P \Rightarrow \alpha\beta\delta \Rightarrow \alpha\gamma\delta$[2]

Notación:

$\Rightarrow$ un paso de derivación

$\overset{i}{\Rightarrow}$ i pasos de derivación

$\overset{*}{\Rightarrow}$ cero o más pasos de derivación

$\overset{+}{\Rightarrow}$ uno o más pasos de derivación

1.6.1.2. LENGUAJE GENERADO

$$L(G) = \left\{ \omega \in \Sigma^* / \, S \overset{*}{\Rightarrow} \omega \right\}$$

Ejemplo:
$L(G) = \{a^n b^n \, / \, n \geq 0\}$

1.6.1.3. EQUIVALENCIA

$L(G_1) = L(G_2) \Rightarrow G_1 \equiv G_2$

[2] $\Rightarrow$ se lee “deriva”, “genera” o “produce”.

1.6.1.4. JERARQUÍA DE CHOMSKY

0. Gramática No restringida

$G = (N, \Sigma, P, S)$

$P \subseteq (N \cup \Sigma)^* \, N \, (N \cup \Sigma)^* \times (N \cup \Sigma)^*$

$\alpha \rightarrow \beta \in P \qquad \alpha \in (N \cup \Sigma)^* \, N \, (N \cup \Sigma)^*$
$\qquad\qquad\qquad \beta \in (N \cup \Sigma)^*$

Ejemplo:
$G = (\{S, A, B, C, D, E\}, \{a\}, P, S)$
$P = \{$

$S \rightarrow ACaB$
$Ca \rightarrow aaC$
$CB \rightarrow DB \mid E$
$aD \rightarrow Da$
$AD \rightarrow AC$
$aE \rightarrow Ea$
$AE \rightarrow \varepsilon$

$\}$

$L(G) = \{a^{2^k} / k > 0\}$

$S \Rightarrow ACaB \Rightarrow AaaCB \Rightarrow AaaDB \Rightarrow AaDaB \Rightarrow ADaaB \Rightarrow ACaaB \Rightarrow AaaCaB \Rightarrow AaaaaCB$
$\Rightarrow AaaaaE \Rightarrow AaaaEa \Rightarrow AaaEaa \Rightarrow AaEaaa \Rightarrow AEaaaa \Rightarrow aaaa$

1. Gramática Sensible al contexto

$G = (N, \Sigma, P, S)$

$P \subseteq (N \cup \Sigma)^* \, N \, (N \cup \Sigma)^* \times (N \cup \Sigma)^+$

$\alpha \to \beta \in P$, $|\alpha| \leq |\beta|$ $\qquad \alpha \in (N \cup \Sigma)^* \, N \, (N \cup \Sigma)^*$
$\qquad \beta \in (N \cup \Sigma)^+$

Observación:
$\alpha \to \varepsilon \notin P$

Ejemplo:
$G = (\{S, A, B\}, \{a, b, c\}, P, S)$
$P = \{$

$S \to abc \mid aAbc$
$Ab \to bA$
$Ac \to Bbcc$
$bB \to Bb$
$aB \to aa \mid aaA$

$\}$

$L(G) = \{a^n b^n c^n \;/\; n \geq 1\}$

2. Gramática Independiente del contexto

$G = (N, \Sigma, P, S)$

$P \subseteq N \times (N \cup \Sigma)^*$

$A \to \alpha \in P \qquad A \in N$

$\qquad\qquad\qquad \alpha \in (N \cup \Sigma)^*$

Ejemplo 1:

$G = (\{S, A, B\}, \{a, b\}, P, S)$

$P = \{$

$S \to aBS \mid bAS \mid \varepsilon$

$A \to bAA \mid a$

$B \to aBB \mid b$

$\}$

$L(G) = \{\omega \in \{a, b\}^* \,/\, |\omega|_a = |\omega|_b\}$

Ejemplo 2:

$G = (\{S\}, \{a, b\}, \{S \to aSbS \mid bSaS \mid \varepsilon\}, S)$

$L(G) = \{\omega \in \{a, b\}^* \,/\, |\omega|_a = |\omega|_b\}$

3. Gramática Regular

a) Lineal por la derecha

$G = (N, \Sigma, P, S)$

$P \subseteq N \times \Sigma^{*} (N \cup \varepsilon)$

$\left.\begin{array}{l} A \to \omega B \\ A \to \omega \end{array}\right\} \in P \qquad \begin{array}{c} A, B \in N \\ \omega \in \Sigma^{*} \end{array}$

Ejemplo:
$G = (\{S, A\}, \{0, 1\}, P, S)$
$P = \{$
$S \to 0A$
$A \to 10A \mid \varepsilon$
$\}$

$L(G) = \{0(10)^{n} / n \geq 0\}$

b) Lineal por la izquierda

$G = (N, \Sigma, P, S)$

$P \subseteq N \times (N \cup \varepsilon)\, \Sigma^{*}$

$\left.\begin{array}{l} A \to B\omega \\ A \to \omega \end{array}\right\} \in P \qquad \begin{array}{c} A, B \in N \\ \omega \in \Sigma^{*} \end{array}$

Ejemplo:
$G = (\{S\}, \{0, 1\}, \{S \to S10 \mid 0\}, S)$

$L(G) = \{0(10)^{n} / n \geq 0\}$

1.6.2. RECONOCEDORES

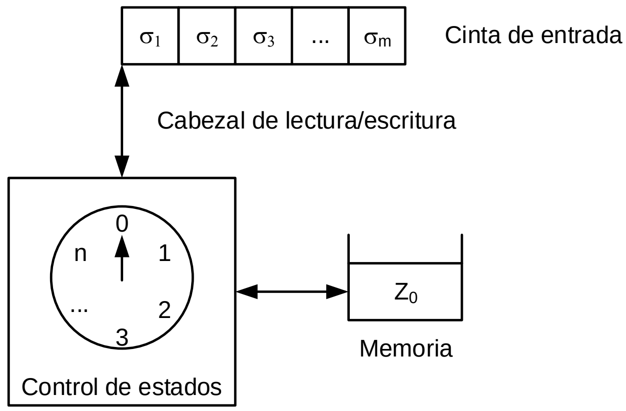

Figura 1.1. Reconocedor.

Un reconocedor consta de (Sanchis, 1988, pp. 99-100):

1. Una **cinta de entrada** dividida en celdas, cada una de las cuales contiene un símbolo de la palabra.
2. Un **cabezal de lectura/escritura** que puede moverse a la izquierda, a la derecha o permanecer estático. “Inicialmente, el cabezal se encuentra situado delante del primer símbolo de la palabra que está escrita en la cinta de entrada” (Cases, 2002, p. 76).
3. Un **control de estados** que determina el comportamiento del reconocedor, representado por un conjunto finito de estados, uno de los cuales es el estado inicial.
4. Una **memoria** que posee una estructura de pila, la cual contiene un símbolo inicial de un determinado alfabeto.

1.6.3. RESUMEN

Tabla 1.1. Representación de Lenguajes.

Tipo	Lenguaje	Generador	Reconocedor
3	Regular	Gramática Regular	Autómata Finito
2	Independiente del Contexto	Gramática Independiente del Contexto	Autómata Apilador
1	Sensible al Contexto	Gramática Sensible al Contexto	Máquina de Turing No Determinista
0	Recursivamente Enumerable	Gramática No Restringida	Máquina de Turing

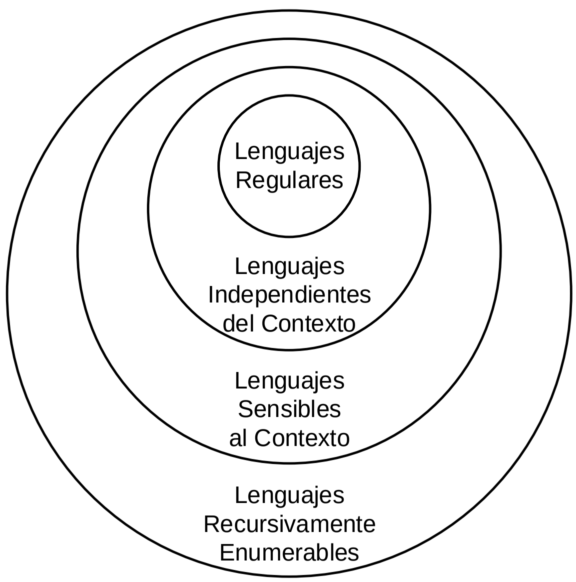

Figura 1.2. Jerarquía de Chomsky.